www.volsu.ru

DOI: https://doi.org/10.15688/NBIT.jvolsu.2025.1.4

УДК 621.39
ББК 32.88

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СЕНСОРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LoRaWAN

Евгений Сергеевич Семенов

Кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой телекоммуникационных систем,
Волгоградский государственный университет
semenov.evgeniy@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Ольга Евгеньевна Сафонова

Кандидат экономических наук, доцент,
кафедра телекоммуникационных систем,
Волгоградский государственный университет
safonova.oe@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрен процесс разработки сенсорной сети LoRaWAN для удаленного контроля аварийности в сфере ЖКХ, которая позволяет отслеживать параметры напряжения электрической сети и своевременно реагировать на их отклонения. Предложена модель устройства мониторинга параметров напряжения электросети на основе протокола MQTT, реализованная на базе аппаратной платформы Arduino UNO.

Ключевые слова: сенсорная сеть LoRaWAN, протокол MQTT, IoT-решения, платформа Arduino UNO, датчик напряжения, архитектура сенсорной сети.

Сегодня IoT-решения применяют в различных технологических сегментах ЖКХ: вода, тепло, газ, мусор, транспорт, электроэнергия и т. д. Рост распространения Интернета вещей (IoT) в ЖКХ ограничивается техническими барьерами, такими как небольшой срок службы устройств с батарейным питанием, связь на коротких расстояниях, высокая стоимость и отсутствие единых стандартов [1]. В связи с этим поиск и предложение новых технологических решений является актуальной задачей.

Самыми известными технологиями, используемыми в IoT для организации среды сбора данных, являются ZigBee (IEEE802.15.4), Z-Wave; LoRa; Bluetooth (BLE); Wi-Fi (IEEE802.11) [2]. Анализ технологий организации среды сбора данных позволяет выявить и систематизировать ключевые параметры технологий Интернет вещей, значения которых в свою очередь оказывают прямое влияние на выбор метода построения сети связи для удаленного контроля аварийности в сфере ЖКХ. Базовые характеристики наиболее распространенных технологий систематизированы и представлены в таблице. Это базовые параметры, их перечень может быть расширен.

В сфере ЖКХ в России для коммерческого использования доступны и преимуще-

© Семенов Е.С., Сафонова О.Е., 2025

Систематизация ключевых характеристик технологий Интернета вещей

Параметр	WiFi	ZigBee	Z-Wave	BT	Lo-RaWAN	SigFox	NB- IoT
Частотный диапазон	2,4/5 ГГц	0,8/0,9/2,4 ГГц	0,8/0,9 ГГц	2,4 ГГц	0,43/0,8/ 0,9 ГГц	0,8/0,9 ГГц	0,8/0,9/ 1,8 ГГц
Ширина полосы	20/40 МГц	2 МГц	300–400 кГц	1–2 МГц в 80 МГц	125 кГц	200 кГц	200 кГц
Скорость передачи данных	1/10/54/300/ 600 Мбайт/с	20/40/250 Кбайт/с	9,6–40–100 Кбайт/с	1–3 Мбайт/с	300 байт/с-50 Кбайт/с	100/600 байт/с	250–20 Кбайт/с
Мощность TX (max)	20 дБм	< 20 дБм	0 дБм	20 дБм	14–27 дБм	14–22 дБм	20–23 дБм
Энергопотребление в режиме TX	1–3 Вт	<0,1 Вт	<0,1 Вт	0,1–0,4 Вт	<0,25 Вт	<0,3 Вт	<0,7 Вт
Дальность	100 м	100 м+	<100 м	10 м	1-30км	1–30 км	~ 3км
Шифрование	Да, WPA2	Да, AES	Да, AES, S2	Да, AES	Да, AES	Да, устройств AES	Да, XTEA
Количество устройств в сети	30	65 000	232	7	10 000+	10 000+	10 000
Топология сети	tree	Star/ mesh/ p2p/ tree	Star/ mesh	tree	star	star	star

ственно используются NB IoT, LoRaWAN и SigFox. Учитывая условия применения разрабатываемой сети, технология LoRaWAN имеет ряд преимуществ для применения в указанной сфере, а именно: децентрализованная архитектура, скорость передачи данных варьируется в диапазоне от 300 бит/с до 5 Кбит/сек (в полосе 125 кГц) и 11 Кбит/с (в полосе 250 кГц), связь по умолчанию двунаправленная и не подлежит лицензированию, шифрование полезных данных, большой выбор базовых станций, возможность создания как общественных, так и частных сетей, легкая масштабируемость сети, устойчивость к помехам, невысокая стоимость оптимизации энергопотребления за счет выбора класса устройств.

Организация сенсорной сети на основе технологии LoRaWAN предполагает определение архитектуры сети, ее конкретных компонент. В качестве таковых выбраны датчик ZMPT101B, аппаратная платформа Arduino UNO [3], модуль беспроводного радиочастотного передатчика Lora E32, ПО Mosquitto MQTT broker.

Разрабатываемая система должна отвечать следующим требованиям: большая площадь и дальность передачи данных; автономное питание устройств; длительное время работы от одной батареи; высокая скорость развертывания системы; невысокая стоимость. Процесс разработки сети можно представить как совокупность подпроцессов: определение требований, выбор архитектуры и компонентов; разработка устройства мониторинга параметров напряжения электросети; подключение и настройка сети; тестирование и отладка.

Указанные процессы отражены в виде модели в нотации IDEF0, часть которой, а именно подпроцесс разработки устройства мониторинга параметров напряжения электросети, представлен на рисунке 1.

Данная модель обеспечивает наглядность реализации процесса, позволяет четко понимать его состав, является основой для дальнейшего анализа и совершенствования различных видов обеспечений исследуемого процесса, таким образом способствует определению основных ресурсов разработки и предполагаемых результатов на каждом этапе.

В соответствии с обозначенными этапами разработана структурная схема устройства регистрации параметров напряжения электрической сети с передачей данных по протоколу MQTT, представленная на рисунке 2.

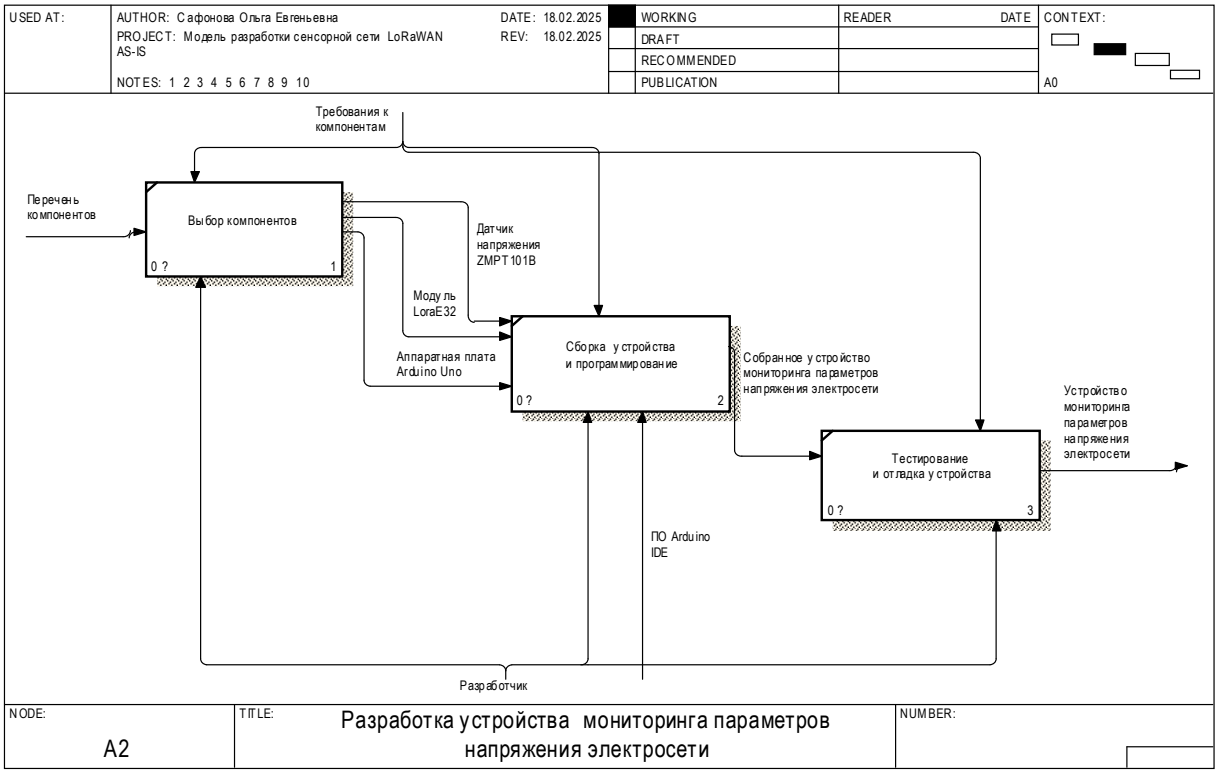


Рис. 1. Декомпозиция процесса разработки устройства мониторинга параметров напряжения электросети

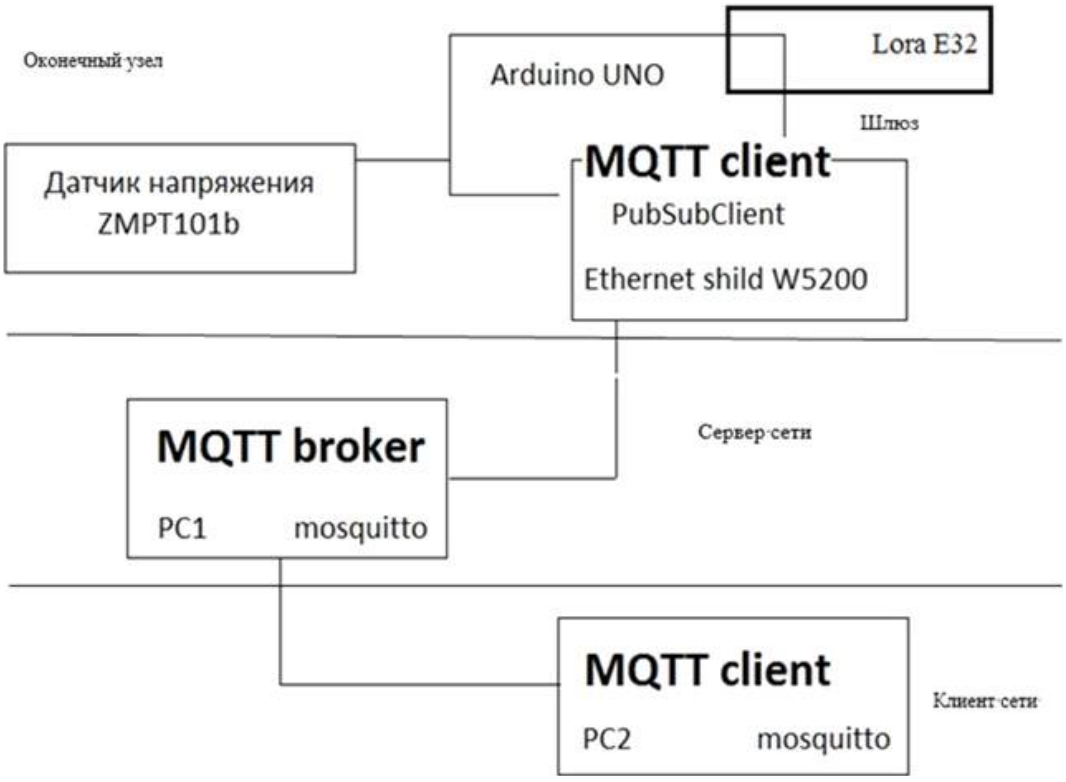


Рис. 2. Архитектура сети

Архитектура сети включает датчик напряжения ZMPT101B в качестве оконечного устройства, MQTT-клиент Arduino UNO (библиотека PubSubclient.h, платформа Arduino UNO с модулями Ethernet shild W5200 и Lora E32) реализующий функции издателя и подписчика, MQTT broker в качестве сервера сбора данных (ПО Mosquitto MQTT broker, PC 1), MQTT-клиент в качестве подписчика (PC2).

Для разработки устройства для регистрации (мониторинга) параметров напряжения электрической сети на основе микроконтроллера необходимы несколько компонентов: аппаратная платформа Ардуино UNO, датчик напряжения ZMPT101B, модуль беспроводного радиочастотного передатчика (Lora E32) (рис. 3).

Работу компонентов сети для удаленного контроля аварийности, иллюстрирует модель взаимодействия компонентов сети в нотации IDEF3 (см. рис. 4).

Построенная модель предоставляет структурированный подход к описанию работы сети и устройства контроля электронапряжения на базе Arduino, позволяя четко определить, как взаимодействуют устройства, их последовательность и необходимые ресурсы.

Модуль датчика напряжения ZMPT101b, вход которого подключен сети электроснабжения, производит измерение амплитудного напряжения в электрической сети, полученный результат считывается микроконтроллером Arduino UNO с пина A0, к которому подключен выход модуля датчика напряжения ZMPT101b. Далее рассчитывается амплитудное и действующее значения измеренного напряжения, и производится сравнение полученного действующего значения сетевого напряжения с нормируемым, принятым за 230в, и в случае выявления отклонения более чем на 10 % (23в), передается информация о данном событии в соответствующий топик MQTT-брокера.

Дальность связи в проекте может достигать 3 км и будет зависеть от используемых антенн, условий окружающей среды и уровня электромагнитных помех в месте развертывания системы.

Разработанная сенсорная сеть связи для удаленного контроля аварийности на основе технологии LoRaWAN позволит отслеживать скачки напряжения на объекте и своевременно реагировать на аварийные ситуации.

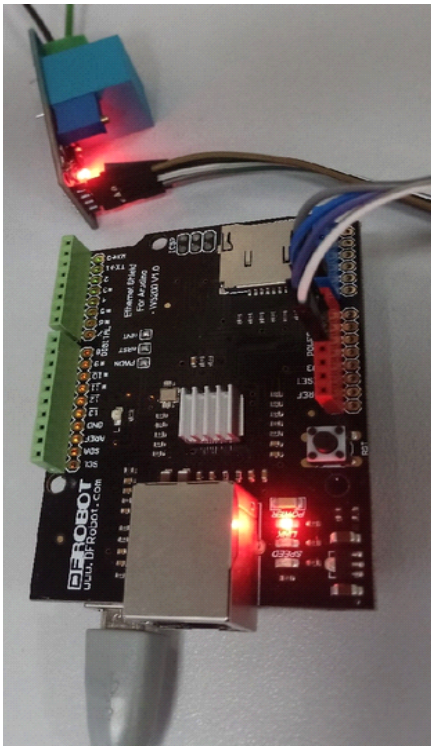


Рис. 3. Устройство регистратора параметров напряжения электрической сети

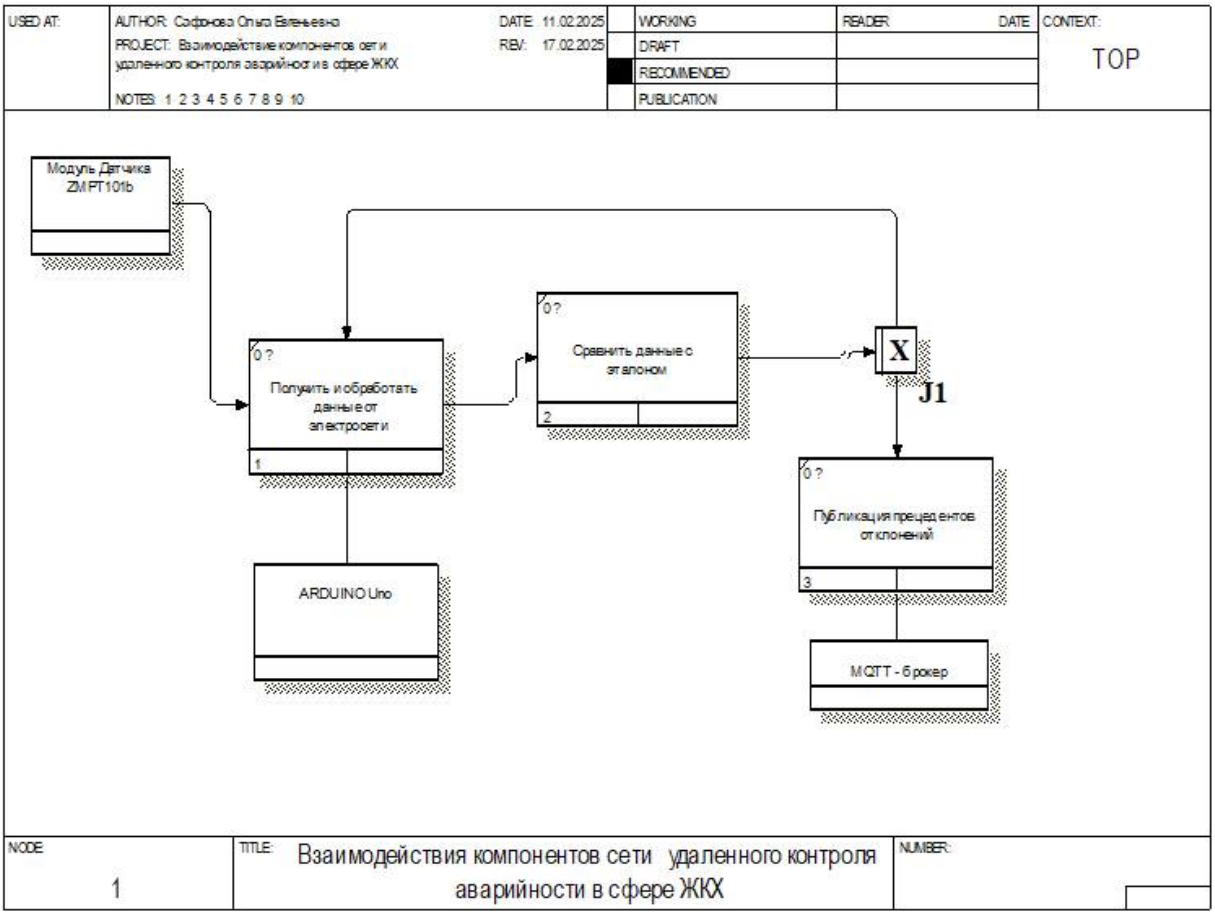


Рис. 4. IDEF3-модель взаимодействия компонентов сети удаленного контроля аварийности в сфере ЖКХ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн, А. Б. Современные подходы к автоматизации бизнес-процессов операторов связи : учеб. пособие / А. Б. Гольдштейн, С. В. Кисляков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2020. – 84 с.

2. Зараменских, Е. П. Интернет вещей. Исследования и область применения : монография / Е. П. Зараменских, И. Е. Артемьев. – М. : ИНФРА-М, 2024. – 188 с. – DOI: 10.12737/13342

3. Петин, В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino / В. А. Петин. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2021. – 560 с.

REFERENCES

1. Goldstein A.B., Kislyakov S.V. *Sovremennye podhody k avtomatizacii biznes-processov operatorov svjazi: ucheb. posobie* [Modern Approaches to Automation of Business Processes of Telecom Operators: Training Manual]. Saint Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2020. 84 p.

2. Zaramenskikh E.P., Artemyev I.E. *Internet veshhej. Issledovanija i oblast primenenija: monografija* [Internet of Things. Research and Application. Monograph]. Moscow, INFRA-M Publ., 2024. 188 p. DOI: 10.12737/13342

3. Petin V.A. *Proekty s ispolzovaniem kontrollera Arduino* [Projects Using Arduino Controller]. Saint Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2021. 560 p.

DEVELOPMENT OF A SENSOR NETWORK MODEL BASED ON LoRaWAN TECHNOLOGY

Evgeny S. Semenov

Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor,
Head of the Department of Telecommunication Systems,
Volgograd State University
semenov.evgeniy@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Olga E. Safonova

Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor,
Department of Telecommunication Systems,
Volgograd State University
safonova.oe@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Abstract. This article presents the development of a LoRaWAN-based sensor network for remote monitoring of electrical grid anomalies in the housing and communal services (HCS) sector. The proposed system addresses critical challenges such as real-time voltage parameter tracking and rapid response to deviations, ensuring operational reliability. The architecture integrates a ZMPT101B voltage sensor, an Arduino UNO microcontroller, and an Lora E32 RF module, utilizing the MQTT protocol for data transmission via the Mosquitto MQTT broker. The system is designed to meet key requirements, including extended coverage, low power consumption, cost efficiency, and scalability. A comparative analysis of IoT technologies (e.g., ZigBee, Wi-Fi, NB-IoT) highlights LoRaWAN's advantages for HCS applications, such as bidirectional communication, robust interference resistance, and energy efficiency. The study outlines the network's development stages, from component selection to deployment, supported by IDEF0 and IDEF3 models to illustrate process workflows and device interactions. The Arduino UNO processes sensor data, detecting voltage deviations exceeding 10% from the 230V standard, and triggers alerts via MQTT topics. Field tests confirm a communication range of up to 3 km, dependent on environmental factors. The solution offers a scalable, low-cost approach to enhancing grid stability in HCS, with potential applications in other IoT-driven sectors.

Key words: LoRaWAN sensor network, MQTT protocol, IoT solutions, Arduino UNO platform, voltage sensor, sensor network architecture.